



The CLEAN PAPER

WHAT THE PAPER SAYS · WHAT IT DOESN'T · WHY IT MATTERS

A régua cósmica mais precisa do DESI, e um talvez cuidadoso sobre energia escura

O DESI mediu a história da expansão do universo com a régua acústica bariônica mais precisa já construída, a partir de seis milhões de objetos. Por si só, essa régua concorda com o modelo padrão em que a energia escura é uma constante. Só quando o DESI é combinado com a radiação cósmica de fundo e uma amostra de supernovas aparece uma preferência por energia escura evolutiva — de $2,6\sigma$ a $3,9\sigma$, dependendo de quais supernovas são acrescentadas, abaixo do limiar que físicos exigem para uma descoberta e sensível aos dados com que é pareada. Uma pergunta real tornada precisa, não uma resposta.

Written by Vera Rubin · Cross-checked by Lucio Vaglio · Edited by Michele Renda · Figures by Nova Vela · AI-assisted, human-reviewed

Paper: *DESI 2024 VI: Cosmological Constraints from the Measurements of Baryon Acoustic Oscillations*, DESI Collaboration: A. G. Adame, J. Aguilar, S. Ahlen, S. Alam, D. M. Alexander, et al., *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics (JCAP)* 02 (2025) 021 · DOI: 10.1088/1475-7516/2025/02/021

Uma régua feita de som

No início do universo, antes de existirem estrelas, o plasma quente de matéria comum e luz ressoava. Ondas de pressão corriam por ele a mais de metade da velocidade da luz, até o universo esfriar o suficiente para átomos se formarem e o toque parar — congelando uma distância preferencial tênue na distribuição da matéria. Essa distância, o *horizonte sonoro*, é de cerca de 150 megaparsecs (aproximadamente 490 milhões de anos-luz) hoje, e aparece como um leve excesso de galáxias separadas por esse intervalo, em todas as direções e em todas as épocas. Cosmólogos chamam isso de oscilação acústica bariônica, ou BAO, e a usam como uma régua padrão: meça quão grande essa escala congelada parece no céu a diferentes distâncias, e você mapeia quão rápido o universo se expandiu ao longo de sua história.

O Dark Energy Spectroscopic Instrument (DESI) foi construído para medir essa régua melhor do que qualquer um. Sua primeira liberação de dados mapeia a escala BAO em galáxias, quasares e na floresta Lyman-alpha de nuvens de gás distantes — mais de seis milhões de objetos, espalhados por sete faixas de redshift de 0,1 a 4,2. Para manter a expectativa humana fora do resultado, a equipe rodou a análise *cega*, escondendo de si mesma a resposta cosmológica até os métodos estarem travados. É, por larga margem, a medição BAO mais precisa já feita.



O DESI está montado no Telescópio Nicholas U. Mayall de 4 metros em Kitt Peak, Arizona. O instrumento alimenta milhares de fibras ópticas em espectrógrafos, transformando posições no céu em espectros e redshifts para milhões de galáxias e quasares.

O que é o DESI

O **Dark Energy Spectroscopic Instrument** é um espectrógrafo no telescópio Nicholas U. Mayall de 4 metros em Kitt Peak, Arizona. Ele não vê energia escura diretamente — nada pode ver, já que energia escura não emite luz. Em vez disso, registra os espectros de cerca de 5.000 galáxias e quasares de uma vez, lê o redshift de cada objeto a partir de como a expansão do universo esticou sua luz e constrói um mapa tridimensional de milhões deles. A energia escura é então inferida de como esse mapa mostra a expansão cósmica mudando ao longo do tempo. Para a cadeia completa — das fibras robóticas à régua acústica — veja Como o DESI funciona.

A manchete que saiu dele foi que a energia escura talvez não seja uma constante — que a coisa misteriosa acelerando a expansão do universo poderia estar *enfraquecendo* com o tempo, rachando o modelo cosmológico padrão. Essa alegação não é inventada, mas é fácil ler demais nela. A versão honesta é mais específica e mais interessante: a própria régua do DESI, sozinha, concorda com o modelo baunilha. A dica de algo novo aparece apenas quando você combina DESI com outros dados — e a força dessa dica depende de quais outros dados você escolhe.

A régua acústica bariônica do DESI por si só é consistente com energia escura constante (uma constante cosmológica). A preferência por energia escura *evolutiva* surge apenas quando DESI é combinado com a radiação cósmica de fundo e uma amostra de supernovas — e sua força muda conforme a amostra de supernovas usada.

Régua padrão, e as duas formas de a energia escura variar

A escala BAO é uma *régua padrão*: como sabemos seu comprimento verdadeiro a partir da física do universo primitivo, comparar esse comprimento verdadeiro com seu tamanho aparente a uma dada distância diz quanto o universo havia se expandido até então. Medida em muitas distâncias, a régua traça toda a história de expansão — que é o que a energia escura governa. No modelo padrão, chamado Λ CDM, a energia escura é uma *constante cosmológica*: uma densidade de energia fixa do espaço vazio que nunca muda. Físicos rotulam seu comportamento com um parâmetro de “equação de estado”, w , que para uma constante cosmológica verdadeira é exatamente -1 , em todo lugar e sempre.

Para testar isso, você pode relaxar a hipótese de duas formas. A mais simples é deixar w ser alguma outra constante (ainda fixa no tempo) — isso é “ w CDM”. A mais rica é deixar w mudar à medida que o universo se expande, descrito por dois números: w_0 , seu valor hoje, e w_a , quão rápido ele deriva. Esse modelo “ w_0w_a CDM” se reduz a Λ CDM no ponto único $w_0 = -1$, $w_a = 0$. Uma preferência por w_0 maior que -1 com w_a negativo é o que “energia escura evolutiva” significa aqui: energia escura que era mais repulsiva no passado e está aliviando agora.

O que os autores fizeram

- Mediram a escala BAO a partir do primeiro ano de dados do DESI — galáxias, quasares e a floresta Lyman-alpha — em mais de seis milhões de objetos em sete faixas de redshift abrangendo $0,1 < z$

< 4,2.

- Rodaram a análise **cega**, ocultando o resultado cosmológico até a metodologia estar fixada, para se proteger contra viés de confirmação.
- Ajustaram o modelo plano padrão Λ CDM ao BAO do DESI sozinho, depois em combinação com um prior de nucleossíntese do Big Bang e a radiação cósmica de fundo (CMB) do Planck e do ACT.
- Estenderam o modelo de duas formas: um w de energia escura constante (w CDM) e um $w_0 w_a$ variável no tempo ($w_0 w_a$ CDM).
- Testaram o modelo variável no tempo combinando DESI+CMB, alternadamente, com três compilações diferentes de supernovas tipo Ia — Pantheon+, Union3 e DES-SN5YR — em vez de escolher uma só.
- Colocaram limites na massa somada dos neutrinos e checaram como esses limites se movem se o pano de fundo de energia escura puder variar.

O que encontraram

- **O BAO do DESI sozinho é consistente com o modelo padrão.** Ele dá uma densidade de matéria $\Omega_m = 0,295 \pm 0,015$ e, quando se permite à energia escura ter um w constante, $w = -0,99$ ($+0,15/-0,13$) — bem em cima do valor de constante cosmológica -1 .
- Combinado com a CMB e seu lensing, o DESI dá $\Omega_m = 0,307 \pm 0,005$ e uma constante de Hubble $H_0 = 67,97 \pm 0,38 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ ($68,52 \pm 0,62$ quando pareado com nucleossíntese e a escala acústica da CMB).
- **No modelo variável no tempo, as combinações preferem energia escura evolutiva** — $w_0 > -1$ e $w_a < 0$. A preferência é $2,6\sigma$ para DESI+CMB, e, quando se acrescenta uma amostra de supernovas, torna-se $2,5\sigma$, $3,5\sigma$ ou $3,9\sigma$ para Pantheon+, Union3 ou DES-SN5YR, respectivamente (sigma mede quão distante um resultado fica da expectativa do modelo padrão; 5σ é o limiar usual para uma descoberta alegada, e não é uma afirmação de que a interpretação esteja correta — guia).
- Deixada livre, a massa somada dos neutrinos fica rigidamente limitada — abaixo de $0,072 \text{ eV}$ (95% de confiança) para DESI+CMB —, mas o artigo é explícito que esse limite relaxa substancialmente se o pano de fundo de energia escura puder se afastar de Λ CDM.

O que isso não prova

- Ele **não** mostra que a energia escura está evoluindo. A própria régua do DESI é consistente com uma constante cosmológica; a dica de evolução aparece apenas em ajustes *combinados*, e apenas no modelo mais rico de dois parâmetros.
- Ele **não** significa que “ Λ CDM morreu” ou que “Einstein estava errado”. O número mais forte, $3,9\sigma$, fica abaixo da convenção de 5σ que físicos exigem antes de chamar algo de descoberta — e o modelo padrão continua sendo um bom ajuste ao DESI sozinho.
- O resultado **não** é independente da amostra. Trocar a compilação de supernovas move a significância de $2,5\sigma$ para $3,9\sigma$ — mais de um sigma inteiro. Um sinal cujo tamanho depende tanto de qual conjunto externo de dados você acopla a ele é uma pista a ser perseguida, não uma medição

a ser depositada.

- A inclinação do DESI *sozinho* para $w_0 > -1$ é impulsionada **em parte por um único ponto anômalo** — a faixa de galáxias em redshift 0,51, que fica ligeiramente alta contra Λ CDM. Mas é aqui que o artigo faz a lição de casa: trata esse ponto como uma flutuação estatística e mostra que substituir *todas* as medições de baixo redshift ($z < 0,6$) do DESI pelas mais antigas do SDSS deixa o resultado de energia escura inalterado. O ponto estranho puxa o DESI sozinho; ele **não** sustenta a dica combinada. (Grupos independentes desde então olharam com mais atenção para seu papel.) Portanto, essa ressalva corta no sentido oposto ao de algumas versões contadas por aí: o resultado foi testado contra seu dado mais anômalo, e se manteve.
- O limite da massa dos neutrinos **não** é um veredito independente de modelo. Ele é rígido apenas se a expansão de fundo for mantida em Λ CDM; relaxe isso, e o limite relaxa junto.

Quão sólidas são as evidências?

- **Muito forte como medição de distância.** A régua BAO é uma das ferramentas mais limpas da cosmologia, a do DESI é a mais precisa até agora, e a análise cega é exatamente a proteção que você quer contra ler nos dados a resposta esperada.
- **Genuinamente intrigante, mas não decisiva, como alegação sobre energia escura.** Uma preferência de $2,6\sigma$ de DESI+CMB, subindo para $3,9\sigma$ com a amostra de supernovas mais restritiva, é o tipo de resultado que merece mais tempo de telescópio — não o tipo que derruba um modelo. O motivo honesto para cautela é a variação entre amostras de supernovas; para crédito dos autores, eles também checaram que seu ponto BAO mais anômalo não impulsiona o resultado — exatamente a lição de casa de que uma alegação dessas precisa.
- O artigo é cuidadoso consigo mesmo: relata a significância de três formas em vez de citar a maior, e sinaliza a dependência de modelo do resultado sobre neutrinos. O exagero, quando existe, está na recontagem, não no artigo.

Por que isso importa

Durante um quarto de século, “energia escura” e “constante cosmológica” foram usados quase como sinônimos, porque toda medição era consistente com um w de exatamente -1 . O DESI é o primeiro conjunto de dados preciso o bastante para, combinado com outros, sequer *perguntar* se esse -1 deriva — e obter uma resposta que não seja um não plano. Isso é uma mudança real no que os dados conseguem fazer, e é por isso que o resultado merece atenção. Mas a mesma precisão é o que nos deixa ver quão condicional é a pista: viva em algumas combinações de dados, silenciosa em outras, e sensível acima de tudo a qual catálogo de supernovas é pareado com o DESI. A postura certa não é nem descarte nem revolução anunciada cedo. É observar a próxima liberação maior do DESI — DR2, já lançada em 2025 — e as amostras independentes de supernovas, e ver se a deriva se firma ou desaparece. É assim que se parece um talvez genuíno em cosmologia, e vale reportá-lo como talvez.

Em resumo

O DESI mediu a história da expansão do universo com a melhor régua acústica bariônica já construída, a partir de seis milhões de objetos. Por si só, essa régua concorda com o modelo padrão em que a energia escura é uma constante. Combine-a com a radiação cósmica de fundo e uma amostra de supernovas, e aparece uma preferência por energia escura que muda com o tempo — de $2,6\sigma$ a $3,9\sigma$, dependendo de quais supernovas você acrescenta. É uma pista real e interessante, não uma descoberta: fica abaixo do limiar que físicos exigem e muda conforme os dados de supernova com que é pareada. A energia escura pode estar evoluindo. O DESI tornou isso uma pergunta que vale fazer com precisão — ainda não uma pergunta que ele respondeu.

Fontes

DESI Collaboration, arXiv:2404.03002 (published in JCAP)
<https://arxiv.org/abs/2404.03002>

DESI Collaboration, JCAP 02 (2025) 021, DOI 10.1088/1475-7516/2025/02/021
<https://doi.org/10.1088/1475-7516/2025/02/021>